

УДК 621.833.16

Д.М. Литвиненко студент гр. ПБ-71мп, к.т.н., доц. Н.В. Стельмах
КПІ ім. Ігоря Сікорського

ОСОБЛИВОСТІ СКЛАДАННЯ КРИВОШИПНО-ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА

Анотація. В роботі виконано аналіз актуальності застосування кривошипно-планетарних редукторів, виявлено їх основні переваги та недоліки. Розглянуто особливості технологічного процесу складання кривошипно-планетарних редукторів, а також методи забезпечення його якості, шляхом перевірки та виконання наступних умов складання, співвісності, сусідства, інтерференція.

Ключові слова: кривошипно-планетарний редуктор, умови складання, умова співвісності, умова сусідства, інтерференція.

ВСТУП

Сучасне приладо- та машинобудування спрямоване на підвищення якості продукції, що виготовляється та економії часу під час виробництва при цьому прагне забезпечити відповідність зразків продукції всім сучасним вимогам до якості та ергономіки. У виробах приладобудування досить часто використовуються планетарні редуктори. Цьому сприяють такі переваги планетарних передач: більше передатне число в одній ступені, широкі кінематичні можливості, підвищена навантажувальна здатність, мале навантаження на опори, суттєво менші габарити і маса в порівнянні зі звичайними зубчатими передачами та менші шумові показники, що пов'язано з підвищеною плавністю внутрішнього зачеплення і меншими розмірами коліс. До недоліків планетарних передач можна віднести різке зниження ККД передачі зі збільшенням передатного числа (збільшенням кількості поверхонь які труться), підвищені вимоги до точності виготовлення деталей редуктора та складання готового виробу. Незначні відхилення під час виготовлення деталей або помилки під час складання можуть призвести до серйозних проблем під час експлуатації аж до виникнення поломки всієї конструкції редуктора.

Не дивлячись на свою складність планетарні передачі знайшли широке застосування в приладобудуванні, машинобудуванні, верстатобудуванні, роботах, механотронних системах і можуть бути частиною приводів лебідок і іншого підйомного обладнання. [1]

ОГЛЯД ПРОБЛЕМАТИКИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Окрім класичних конструкцій планетарних передач [1] важливе прикладне значення мають передачі з альтернативними структурними схемами, зокрема, кривошипно-планетарні редуктори [2-4]. Такі редуктори досить компактні, довговічні, мають високу навантажувальну і перевантажувальну здатність, характеризуються низьким рівнем шуму і вібрацій, мають малий момент інерції рухомих деталей і дозволяють реалізовувати широкий діапазон передатних чисел. Одним з стримуючих факторів їх застосування є вимоги до якості виготовлення деталей та висока вірогідність помилок під час складання редуктора. Для забезпечення високої якості складання кривошипно-планетарного редуктора потрібно перевірити та забезпечити ряд умов таких як

умова сусідства, умова співвісності, умова складання, умова відсутності інтерференції.

Умова сусідства. Часто планетарні механізми для забезпечення динамічної врівноваженості, виконують з декількома рівномірно розташованими по колу сателітами, які розташовані навколо центральних коліс в одній площині. У цьому випадку механізм проектується так, щоб зубчасті колеса сателітів не зачіпали (не «перетинали») один одного. [5].

У кривошипно-планетарному редукторі сателіти розміщені в двох паралельних площинах. Таке розташування сателітів запобігає можливості перетину головок зубів при цьому умова сусідства виконується. Перевірка даної умови виконується тільки при числі сателітів (потоків) більше одиниці.

Умова співвісності. Осі центральних коліс планетарних передач збігаються з основною, тому для механізму з циліндричними передачами зачеплення центральних коліс з сателітами мають одну і ту ж міжосьову відстань. Виняток складають передачі, в яких сателіт складається з двох зчипних зубчастих коліс. [6]. Таким чином, умова співвісності для кривошипно-планетарного редуктора має вигляд (1,2):

$$a_w = \frac{m(z_2 - z_1)}{2 \cdot \cos^2 \beta} \cdot \frac{\cos \alpha_t}{\cos \alpha_{tw}}, \quad (1)$$

$$\cos \alpha_t = \frac{\cos \beta}{\sqrt{\cos^2 \beta + \operatorname{tg}^2 \alpha}}$$

де

$$\cos \alpha_{tw} = \cos \alpha_{tw},$$

де α_{tw} –розв'язок рівняння

$$\operatorname{inv} \alpha_{tw} = \operatorname{inv} \alpha_t + \frac{2(x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha}{z_2 - z_1} \quad (2)$$

Умова складання. Умова складання передбачає забезпечення складання планетарного механізму. Дана умова перевіряється при числі сателітів більше одиниці. В кривошипно-планетарному механізмі установка сателітів можлива тільки в одному і тому ж положенні. [6].

Кривошипно-планетарний редуктор (рис.1) в першому приближенні складається з ексцентрикового валу 1, сателітів 2 і 2', корпусу з внутрішнім евольвентним зачепленням 3, механізму зняття обертового руху з сателітів (паралелограмного механізму) 4. Для полегшення складання під час виготовлення сателітів проводиться маркування базового зуба (впадини) і отвору у вигляді точки, складання відбувається наступним чином: ексцентриковий вал 1 зі встановленими сателітами 2 і 2', встановлюють вершиною ексцентриків у вертикальному положенні після чого сателіти

встановлюють таким чином, щоб маркований зубець (впадина) з отворами співпадали з вертикальною віссю ексцентриків, далі в отвори сателітів встановлюють пальці паралелограмного механізму 4. Після виконання цих маніпуляцій вузол встановлюють у внутрішнє евольвентне зачеплення корпусу 3.

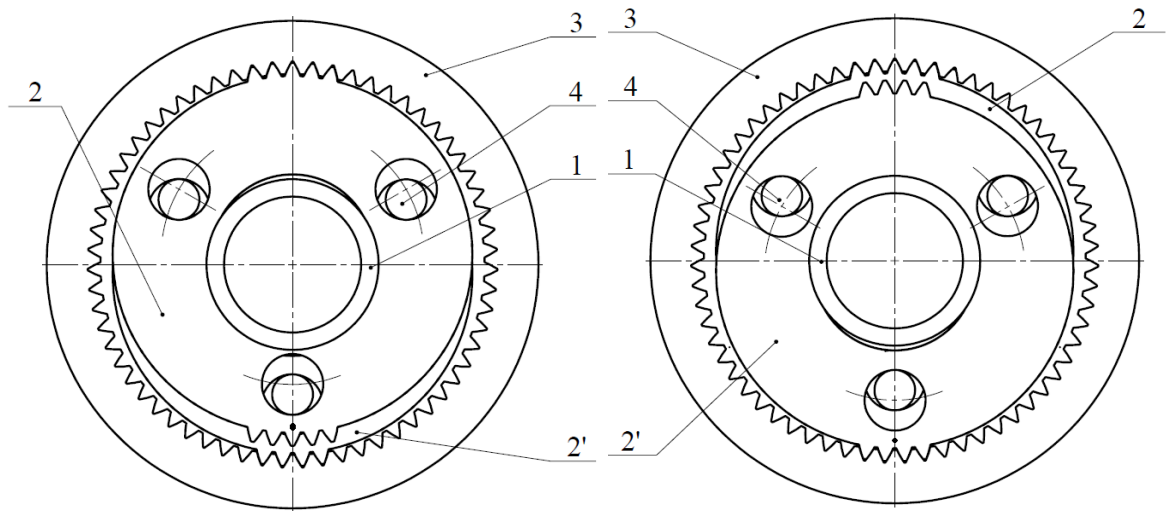


Рис. 1. Кривошипно-планетарний редуктор

Умова відсутності інтерференції. Внутрішня передача має набагато вищий шанс присутності інтерференції ніж зовнішня передача. Існують різні види інтерференції, такі як, осьова інтерференція, радіальна інтерференція, інтерференція головки зуба і т. д., які приведуть до порушення складання. [7]

Інтерференція головки зуба. Коли різниця кількості зубів $z_2 - z_1$ мала, головка зубу шестерні може контактувати з головкою зубу контактуючого колеса в місці протилежному точці зачеплення.

Наступне відношення дозволяє уникнути інтерференцію головки зуба:

$$R_{a2} + a_w > R_{a1} \quad (3)$$

Осьова інтерференція. В кривошипно-планетарному редукторі з малою різницею зубів $z_2 - z_1 = 1$ є можливість виникнення осьової інтерференції. Умова уникнення цього виду інтерференції виражається наступним чином (4):

$$z_1(\theta_1 + \text{inv}\phi_{a1}) + (z_2 - z_1)\text{inv}\phi > z_2(\theta_2 + \text{inv}\phi_{a2}) \quad (4)$$

де
$$\theta_1 = \arccos \left[\left(R_{a2}^2 - R_{a1}^2 - a_w^2 \right) / (2R_{a1}a_w) \right]$$

$$\theta_2 = \arccos \left[\left(R_{a2}^2 - R_{a1}^2 + a_w^2 \right) / (2R_{a1}a_w) \right]$$

Радіальна інтерференція. Планетарні передачі з малою різницею зубів схильні до виникнення радіальної інтерференції. Умова уникнення радіальної інтерференції виглядає наступним чином (5):

$$\begin{aligned} z_1 \left\{ \arcsin \sqrt{\left[1 - (\cos \phi_{a1} / \cos \phi_{a1})^2 \right] / \left[1 - (z_1 / z_2)^2 \right]} + \operatorname{inv} \phi_{a1} - \operatorname{inv} \phi \right\} > \\ z_2 \left\{ \arcsin \sqrt{\left[(\cos \phi_{a2} / \cos \phi_{a1})^2 - 1 \right] / \left[(z_2 / z_1)^2 - 1 \right]} + \operatorname{inv} \phi_{a1} - \operatorname{inv} \phi \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

ВИСНОВКИ

При проектуванні кривошипно-планетарного редуктора для забезпечення можливості якісного складання необхідно перевіряти ряд умов, які були наведені в роботі, та представлені у вигляді математичних залежностей. Розгляд даних умов на етапі проектування прискорює процес виготовлення виробу та зменшує кількість помилок безпосередньо під час складання редуктора. Подальший розвиток теми дозволить автоматизувати процес розрахунку умов складання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козырев В.В. Планетарные редукторы в составе роботов и мехатронных систем : Учеб. пособие / В.В. Козырев. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2008. – 48 с.
2. І.В. Янчевський, П. Комада, Н.В. Стельмах, Д.М. Литвиненко, Контактна задача для кривошипно-планетарного редуктора / Наукові вісті НТУУ «КПІ». - 2018. - №1. – С. 73–80; DOI: 10.20535/1810-0546.2018.1.121166
3. Grigory S. Tymchik, Nataliia V. Stelmakh, Anatoliy S. Vasyura, Waldemar Wójcik, Kuanysh Muslimov, "Automated generation of the design solution of the assembly in instrument engineering," Proc. SPIE 10808, 1080828 (1 October 2018); doi: 10.1117/12.2501560
4. Plekhanov T.I. Structures and strength properties of planetary gear with internal linkings wheel strength // Eastern European Scientific J. – 2014. – Iss. 1. – P. 144-156. DOI: 10.12851/EESJ201402ART28
5. Условие соседства [Електронний ресурс] // studfiles.net. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/1839322/page:19/>.
6. Кудрявцев В. Н. Планетарные передачи / В. Н. Кудрявцев. – Москва: Машиностроение, 1986. – 134 с.
7. On The Interference of Internal Gearing [Електронний ресурс] // www.geartechnology.com. – 1989. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.geartechnology.com/issues/0789x/you.pdf>.

Наук. керівник – к.т.н., доцент Стельмах Н.В.